

(19)



JAPANESE PATENT OFFICE

PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11) Publication number: **08148400 A**

(43) Date of publication of application: **07.06.96**

(51) Int. Cl.

**H01L 21/02**  
**G06F 17/00**  
**G06F 17/50**

(21) Application number: **06323969**

(22) Date of filing: **02.12.94**

(30) Priority: **20.09.94 JP 06250190**

(71) Applicant: **RICOH CO LTD**

(72) Inventor: **HYODO TOSHIHIRO**

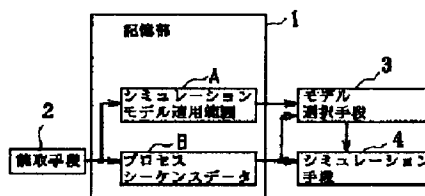
**(54) PROCESS SIMULATION INPUT DATA SETTING  
DEVICE**

(57) Abstract:

PURPOSE: To facilitate setting of simulation input data by automatically setting an optimal simulation model for each manufacturing process.

CONSTITUTION: A memory portion 1 stores each simulation model application range A in advance. Reading means 2 enters process sequence data B as execution condition data for two-dimensional process simulation, and stores the data B in the memory portion 1. Model selection means 3 compares the process sequence data B and each simulation model application range A, which are stored in the memory portion 1, and selects an optimal simulation model for two-dimensional simulation of each manufacturing process. Simulation means 4 sets process simulation input data required for executing the two-dimensional process simulation.

COPYRIGHT: (C)1996,JPO



(19)日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11)特許出願公開番号

特開平8-148400

(43)公開日 平成8年(1996)6月7日

(51)Int.Cl. <sup>8</sup>	識別記号	庁内整理番号	F I	技術表示箇所
H 0 1 L 21/02	Z			
G 0 6 F 17/00				
17/50				
		9069-5L	G 0 6 F 15/ 20	D
		9191-5H	15/ 60	6 3 6 D
			審査請求 未請求 請求項の数3	F D (全 7 頁)

(21)出願番号 特願平6-323969

(22)出願日 平成6年(1994)12月2日

(31)優先権主張番号 特願平6-250190

(32)優先日 平6(1994)9月20日

(33)優先権主張国 日本(J P)

(71)出願人 000006747

株式会社リコー

東京都大田区中馬込1丁目3番6号

(72)発明者 兵頭 敏宏

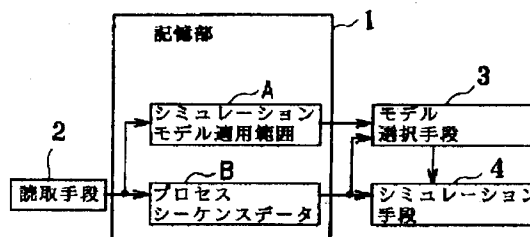
東京都大田区中馬込1丁目3番6号 株式会社リコー内

(54)【発明の名称】 プロセスシミュレーション入力データ設定装置

(57)【要約】

【目的】 各製造工程毎に最も適したシミュレーションモデルを自動的に設定するようにして、シミュレーション入力データの設定を容易にする。

【構成】 記憶部1は各シミュレーションモデル適用範囲Aを予め記憶する。読取手段2は各製造工程の2次元プロセスシミュレーションの実行条件データであるプロセスシーケンスデータBを入力し、記憶部1に記憶する。モデル選択手段3は記憶部1に記憶したプロセスシーケンスデータBと各シミュレーションモデル適用範囲Aとを比較して各製造工程を2次元プロセスシミュレートするのに最適なシミュレーションモデルを選択し、シミュレーション手段4が2次元プロセスシミュレーションを実行するために必要なプロセスシミュレーション入力データを設定する。



**【特許請求の範囲】**

【請求項1】 記憶部と読取手段とモデル選択手段を有し、記憶部は各シミュレーションモデルの適用範囲を予め記憶し、読取手段は各製造工程の2次元プロセスシミュレーションの実行条件データであるプロセスシーケンスデータを入力し記憶部に記憶し、モデル選択手段は記憶部に記憶したプロセスシーケンスデータと各シミュレーションモデルの適用範囲とを比較して各製造工程を2次元プロセスシミュレートするのに最適なシミュレーションモデルを選択することを特徴とするプロセスシミュレーション入力データ設定装置。

【請求項2】 モデル選択手段は1次選択手段と2次選択手段と比較手段を備え、1次選択手段は各製造工程をシミュレートするのに最適なシミュレーションモデルを選択し、2次選択手段は1次選択手段が選択したシミュレーションモデルより処理時間の短いシミュレーションモデルを順に選択し、比較手段は1次選択手段が選択したシミュレーションモデルの1次元シミュレーション結果と2次選択手段が選択したシミュレーションモデルの1次元シミュレーション結果との比較を繰返し、両シミュレーション結果の誤差が一定範囲内で、且つ、最も処理時間の短いシミュレーションモデルを選択する請求項1記載のプロセスシミュレーション入力データ設定装置。

【請求項3】 選択されたシミュレーションモデルを用いた1次元シミュレーションの結果からメッシュを設定又は変更するメッシュ生成手段を有する請求項2記載のプロセスシミュレーション入力データ設定装置。

**【発明の詳細な説明】****【0001】**

【産業上の利用分野】この発明は2次元プロセスシミュレーション実行時に必要なデータを自動設定するプロセスシミュレーション入力データ設定装置に関するものである。

**【0002】**

【従来の技術】半導体デバイス開発期間の短縮及び故障解析等のため、2次元のプロセスシミュレータが広く利用されている。一般に2次元のプロセスシミュレータは半導体デバイスの製造工程のうち、イオン注入工程、酸化工程、拡散工程、エピタキシャル成長工程、堆積工程及びエッチング工程をシミュレートするものであり、製造工程別に製造条件と等価なデータ等を入力して、入力したデータに基づいてシミュレーションを行っている。

【0003】2次元のプロセスシミュレータはデバイスの細分化及び新プロセスの追加に応じて高精度化が進められている。ここで、2次元のプロセスシミュレータの精度はシミュレーションに用いられるシミュレーションモデルの精度及びメッシュの刻み方により大きく影響を受ける。このため、シミュレーションモデルはデバイスの細分化及び新プロセスの追加に応じて高精度化され、

高精度の2次元プロセスシミュレーションを行うことができるようになってきている。

**【0004】**

【発明が解決しようとする課題】しかしながら、シミュレーションモデルの高精度化等に伴い、シミュレーションを行うためのデータの入力が複雑になっていた。このため、短時間で高精度のシミュレーションを行うためのデータであるプロセスシーケンスデータを作成するためには、シミュレーションに関する高い知識を必要とし、一般ユーザに取ってかなり困難な作業になっていた。

【0005】例えば、各工程のシミュレーションにおけるプロセスシーケンスデータに合わせてシミュレーションモデルの選択を変えなければならず、シミュレーションモデルに関する高い知識を必要とする。

【0006】また、高精度のシミュレーションモデルを用いるとシミュレーションの精度は上がるが、シミュレーションに長時間を要する。このため、高精度でシミュレーションすることが必要な工程以外は処理時間が短い簡単なシミュレーションモデルを用いる必要が有る。また、メッシュを細かくすると計算時間が膨大になり、メッシュを粗くすると精度が悪くなる。

【0007】このため、ユーザはシミュレーションを実行するに最適なシミュレーションモデルを選択するだけでなく、一定の精度を保ちながら計算時間の短いシミュレーションモデルを選択しなければならない。また、短時間で高精度な半導体プロセスシミュレーションを行うためには適切なメッシュを刻む必要が有る。

【0008】この発明はかかる要望に対応するためになされたものであり、各製造工程毎に最も適したシミュレーションモデル等を自動的に設定するようにして、シミュレーションの条件設定を容易にすることを目的とする。

**【0009】**

【課題を解決するための手段】この発明にかかわるプロセスシミュレーション入力データ設定装置は、記憶部は各シミュレーションモデルの適用範囲を予め記憶し、読取手段は各製造工程の2次元プロセスシミュレーションの実行条件データであるプロセスシーケンスデータを入力し記憶部に記憶し、モデル選択手段は記憶部に記憶したプロセスシーケンスデータと各シミュレーションモデルの適用範囲とを比較して各製造工程を2次元プロセスシミュレートするのに最適なシミュレーションモデルを選択する。

【0010】さらに、モデル選択手段は1次選択手段と2次選択手段と比較手段を備え、1次選択手段は各製造工程をシミュレートするのに最適なシミュレーションモデルを選択し、2次選択手段は1次選択手段が選択したシミュレーションモデルより処理時間の短いシミュレーションモデルを順に選択し、比較手段は1次選択手段が選択したシミュレーションモデルの1次元シミュレーシ

ョン結果と 2 次選択手段が選択したシミュレーションモデルの 1 次元シミュレーション結果との比較を繰返し、両シミュレーション結果の誤差が一定範囲内で、且つ、最も処理時間の短いシミュレーションモデルを選択すると望ましい。

【0011】さらに、メッシュ生成手段は選択されたシミュレーションモデルを用いた 1 次元シミュレーションの結果からメッシュを設定又は変更すると良い。

【0012】

【作用】この発明においては、記憶部は各シミュレーションモデルの適用範囲を予め記憶する。読取手段は各製造工程の 2 次元プロセスシミュレーションの実行条件データであるプロセスシーケンスデータを入力し記憶部に記憶する。モデル選択手段は記憶部に記憶したプロセスシーケンスデータと各シミュレーションモデルの適用範囲とを比較して各製造工程を 2 次元プロセスシミュレーションするのに最適なシミュレーションモデルを選択し、2 次元プロセスシミュレーションを実行するために必要なプロセスシミュレーション入力データを設定する。

【0013】さらに、モデル選択手段は 1 次選択手段と 2 次選択手段と比較手段を備え、1 次選択手段は各製造工程をシミュレーションするのに最適なシミュレーションモデルを選択し、2 次選択手段は 1 次選択手段が選択したシミュレーションモデルより処理時間の短いシミュレーションモデルを順に選択し、比較手段は 1 次選択手段が選択したシミュレーションモデルの 1 次元シミュレーション結果と 2 次選択手段が選択したシミュレーションモデルの 1 次元シミュレーション結果との比較を繰返し、両シミュレーション結果の誤差が一定範囲内で、且つ、最も処理時間の短いシミュレーションモデルを選択し、短時間で高精度の 2 次元プロセスシミュレーションを行うことができるシミュレーションモデルを選択する。

【0014】さらに、メッシュ生成手段は選択したシミュレーションモデルを用いた 1 次元シミュレーションの結果からメッシュを設定又は変更し、高精度の 2 次元プロセスシミュレーションを行うことができるメッシュを生成する。

【0015】

【実施例】図 1 はこの発明のプロセスシミュレーション入力データ設定装置のブロック図である。プロセスシミュレーション入力データ設定装置は記憶部 1、読取手段 2、モデル選択手段 3 及びシミュレーション手段 4 を有する。記憶部 1 は各製造工程の 2 次元プロセスシミュレーションに使用する各種のシミュレーションモデルの適用範囲 A を予め記憶する。ここで、シミュレーションモデル適用範囲 A は各シミュレーションモデルの名称と特徴を符号化して記憶している。なお、シミュレーションモデル適用範囲 A には、例えばイオン注入シミュレーションモデルとして L S S モデル及び M C モデル、拡散シミュレーションモデルとして E Q モデル、O E D モデル

及び P D モデルが記憶されている。各シミュレーションモデルは以下の特徴を有する。L S S モデルは L S S 理論に基づく解析モデルで、計算時間が短い。M C モデルはモンテカルロ法に基づく数値モデルで、斜めイオン注入を計算したり、O E D あるいは P D モデルに必要な点欠陥濃度を見積もることができるが計算時間が長い。E Q モデルは熱平衡状態を仮定した簡単なモデルで計算時間が短い。O E D モデルは酸素雰囲気中の異常拡散をシミュレートするモデルであり、計算時間が長い。P D モデルは注入ダメージによる異常拡散をシミュレートするモデルであり、計算時間が長い。

【0016】読取手段 2 は各製造工程の 2 次元プロセスシミュレーションの実行条件であるプロセスシーケンスデータ B を外部から入力し、記憶部 1 に記憶する。プロセスシミュレーション入力データ設定装置に対してイオン注入工程又は拡散工程の 2 次元プロセスシミュレーションの実行が指示されると、モデル選択手段 3 は記憶部 1 からプロセスシーケンスデータ B を順に読み取る。ここで、プロセスシーケンスデータ B は、例えば図 2 の構成図に示すように各製造工程及び各製造工程を実行する場合の条件設定を記憶する。図中「INPLANT」及び「DIFFUSION」はそれぞれイオン注入工程及び拡散工程を意味し、「ENERGY」及び「TEMPERATURE」はそれぞれイオン

注入エネルギー及び拡散温度でありイオン注入工程及び拡散工程を実行する場合の条件設定を示す。これらはユーザの入力によって設定される。モデル選択手段 3 は製造工程及びプロセスシーケンスデータ B を読み取った後、読み取ったプロセスシーケンスデータ B と記憶部に記憶したシミュレーションモデル適用範囲 A とを比較して最も高精度のシミュレーションを実行するシミュレーションモデルを選択し、2 次元プロセスシミュレーションを実行するために設定が必要なプロセスシミュレーション入力データにシミュレーションモデルを設定する。

【0017】シミュレーション手段 4 はモデル選択手段 3 が選択したシミュレーションモデル C を用いて 2 次元プロセスシミュレーションを行い、2 次元プロセスシミュレーションした結果を出力する。これにより、プロセスシミュレーション入力データ設定装置は最適なシミュレーションモデルを用いて、イオン注入工程及び拡散工程のシミュレーションをすることができる。

【0018】次に、モデル選択手段 3 がシミュレーションモデル適用範囲 A とプロセスシーケンスデータ B を比較して、シミュレーションモデルを選択する動作の一例を図 3 のフローチャートを参照して詳しく説明する。

【0019】モデル選択手段 3 は記憶部 1 からシミュレーションしようとする製造工程を含みプロセスシーケンスデータ B を読み取り、読み取った製造工程が拡散工程か又はイオン注入工程かを判断する。モデル選択手段 3 は読み取った製造工程が拡散工程の場合（ステップ S 1）、プロセスシーケンスデータ B から酸素雰囲気中

の拡散か否かを判断し、酸素雰囲気中の拡散である場合には(ステップS2)、酸素雰囲気中の異常拡散をシミュレートするモデルであるOEDモデルを選択する(ステップS7)。モデル選択手段3は拡散工程が酸素雰囲気中の拡散でない場合には(ステップS2)、イオン注入直後の熱処理が通常より高温で短時間にアニーリングを行うラピッドサーマルアニーリング(以下「RTA」という。)か又は一定温度、例えば「850℃」以下の拡散であるか否かを調べ、RTA又は一定温度以下の拡散である場合は(ステップS3、S4)、高精度のシミュレーションを行う必要が有るため、注入ダメージによる異常拡散をシミュレートするモデルであるPDモデルを選択する(ステップS6)。モデル選択手段3は酸素雰囲気中の拡散でなく、かつ、RTA又は「850℃」以下の拡散でない場合は(ステップS3、S4)、高い精度のシミュレーションを必要としないので、熱平衡状態を仮定した簡単なモデルで計算時間が短いEQモデルを選択する(ステップS5)。

【0020】モデル選択手段3は読み取った製造工程がイオン注入工程の場合(ステップS8)、プロセスシーケンスデータBからイオン注入工程が斜めイオン注入か否かを判断し、斜めイオン注入によるイオン注入工程である場合には(ステップS9)、斜めイオン注入のシミュレーションに必要なモデルであるMCモデルを選択する(ステップS10)。イオン注入工程が斜めイオン注入工程でない場合であっても、拡散工程でのシミュレーションモデルがOEDモデル又はPDモデルの場合はイオン注入工程のシミュレーションにおいてはMCモデルを選択しなければならないので、モデル選択手段3はイオン注入後の拡散工程がRTAか又は「850℃」以下の拡散か否かを調べ、拡散工程がRTAか又は「850℃」以下の拡散である場合には(ステップS11、S12)、MCモデルを選択し(ステップS10)、どちらにも当てはまらなければLS理論に基づく解析モデルで計算時間が短いLSモデルを選択する(ステップS13)。このように、プロセスシーケンスデータBを基に使用可能なシミュレーションモデルの中から必要に応じて高い精度でシミュレーションを行うことができるシミュレーションモデルを自動的に選択するので、ユーザはシミュレーションモデルに関する知識が無くとも最適のシミュレーションモデルを用いて、高精度の2次元プロセスシミュレーション結果を得ることができる。

【0021】次に、モデル選択手段3が、図4のブロック図に示すように1次選択手段31と2次選択手段32と比較手段33を備え、上記の最も高い精度でシミュレーションすることができるシミュレーションモデルをもとに、一定誤差内で処理時間の短いシミュレーションモデルを選択する場合の動作について、例えば拡散工程のシミュレーションモデルを変更する場合を例に図5のフローチャートを用いて説明する。

【0022】モデル選択手段3は高い精度でシミュレーションを実行することが要求されていない場合は、1次選択手段31が上記の最も高い精度でシミュレーションすることができるシミュレーションモデルの選択を各工程についておこなった後、選択した最適のシミュレーションモデルを用いて各工程の1次元シミュレーションを実行し、その結果をターゲットデータとして記憶する(ステップS21)。ここで、実行されるシミュレーションは1次元シミュレーションなので、高精度のシミュレーションモデルを用いても処理時間は短い。

【0023】モデル選択手段3の2次選択手段32は拡散工程のシミュレーションモデルとして選択された最適のシミュレーションモデルを基にシミュレーションモデル適用範囲Aから処理時間の短いシミュレーションモデルの有無を調べ、処理時間の短いシミュレーションモデルが無ければ選択したシミュレーションモデルを変更せずに終了し、処理時間の短いシミュレーションモデルがあれば(ステップS22)、そのシミュレーションモデルを選択するように変更する(ステップS23)。例えば、拡散工程のシミュレーションモデルとして選択されているシミュレーションモデルがPDモデル又はOEDモデルの場合、EQモデルに変更する。

【0024】モデル選択手段3の2次選択手段32はPDモデル又はOEDモデルからEQモデルに変更した場合は(ステップS24)、直前のイオン注入工程のシミュレーションモデルがMCモデルか否かを調べ、MCモデルの場合は(ステップS25)、直前の注入工程のモデルをLSモデルに変更する(ステップS26)。これにより拡散工程と拡散工程の直前のイオン注入工程でのシミュレーションモデルの精度を合わせることができる。

【0025】モデル選択手段3はシミュレーションモデルを変更すると、変更したシミュレーションモデルを使い1次元シミュレーションを行う(ステップS27)。モデル選択手段3の比較手段33は変更したシミュレーションモデルを用いた1次元シミュレーションのシミュレーション結果と、ターゲットデータとを比較して、両シミュレーション結果の誤差が一定範囲以内、例えば「5」%未満でない場合は(ステップS28)、選択するシミュレーションモデルを変更直前のシミュレーションモデルに戻し(ステップS29)、上記処理時間の短いシミュレーションモデルの検索(ステップS22)からシミュレーション結果の比較(ステップS28)までの処理を繰返し、一定の誤差範囲内で最も処理時間が短いシミュレーションモデルCを選択する。モデル選択手段3の比較手段33は両シミュレーション結果の誤差が一定以内、例えば「5」%未満の場合(ステップS28)、上記処理時間の短いシミュレーションモデルの検索(ステップS22)からシミュレーション結果の比較(ステップS28)までの処理を繰返し、一定の誤差範

囲内で最も処理時間が短いシミュレーションモデルCを選択する。このように、例えば高い精度を要する製造工程の2次元プロセスシミュレーションに対しては誤差範囲を小さく設定し、精度があまり要求されない製造工程の2次元プロセスシミュレーションに対しては誤差範囲を大きく設定することにより、処理時間を短縮し効率良く2次元プロセスシミュレーション結果を得ることができる。

【0026】なお、上記実施例ではシミュレーションの処理時間の長いシミュレーションモデルから順に選択するようにしたが、シミュレーションの処理時間が最も短いシミュレーションモデルから順に選択して、誤差が一定範囲内に達したシミュレーションモデルを用いてシミュレーションするようにしても良い。

【0027】次に、他の実施例として図6のブロック図に示すように、上記プロセスシミュレーション入力データ設定装置が更にメッシュ生成手段5を備える場合において、シミュレーションモデルCの選択後に自動的にメッシュを生成する場合の動作について説明する。

【0028】モデル選択手段3が1次元シミュレーションを行いシミュレーションモデルを決定すると、メッシュ生成部5はモデル選択手段3の1次元シミュレーション結果を用い、メッシュを生成する。例えば、図7に示すようにMOSFET6にマスクする場合は基板11表面と平行方向であるx方向のメッシュについてはプロセスシーケンスデータBに含まれるマスク情報を基にマスク端部付近のメッシュ幅が注入イオンの標準偏差 $\Delta R_p$ 以下になるように刻む。基板11表面と垂直方向であるy方向のメッシュについては基板11表面及び不純物の接合部9付近のメッシュ幅が注入イオンの標準偏差 $\Delta R_p$ 以下になるように刻む。なお、不純物の接合部9の位置はモデル選択手段3の1次元シミュレーション結果から判断する。同様に深さ方向のメッシュをマスク端部10でのメッシュ幅が標準偏差 $\Delta R_p$ 以下になるように刻む。ここで、イオン注入工程で注入されたイオンは基板11内でジグザグの経路を通過して停止するので、イオンの入射点から停止点までの距離を直線で結び、これを入射点からの垂線に投影した距離、即ち表面からの深さを射影飛程とする。イオンが入射してから停止するまでの距離は全てのイオンで一定ではなく、途中の格子原子との衝突の仕方により個々のイオンで差異が生じる。また、注入されるイオンの数は非常に多いので、飛程は統計的な変動幅を持つ。飛程が統計的な変動幅を持つ結果、注入されたイオンは半導体基板中で図8の分布図に示すようにガウス分布をする。したがって、射影飛程 $R_p$ はイオン分布のピーク値を示す深さの値となり、標準偏差 $\Delta R_p$ でその広がりを予測することができる。このことから、例えば、不純物の接合部9付近のメッシュの幅を標準偏差 $\Delta R_p$ 以下になるように刻めば、濃度分布の変化が急激な部分でも不純物の接合部9を正確にシミ

ュレーションすることができる。

【0029】シミュレーション手段4はモデル選択手段3が選択したシミュレーションモデルと、メッシュ生成手段5が生成したメッシュとを用い2次元プロセスシミュレーションを実行しシミュレーション結果を出力する。これにより、最適のメッシュ幅でシミュレートすることができるようになり、更に高精度のシミュレーション結果を得ることができるようになる。

【0030】なお、上記実施例ではモデル選択手段3の1次元シミュレーション結果を用いて、メッシュを生成したが、プロセスシーケンスデータBのみを用いてメッシュを生成するようにしても良い。

【0031】

【発明の効果】この発明は以上説明したように、各製造工程の2次元プロセスシミュレーションの実行条件データであるプロセスシーケンスデータを入力し、プロセスシーケンスデータと予め記憶した各シミュレーションモデルの適用範囲とを比較して各製造工程を2次元プロセスシミュレートするのに最適なシミュレーションモデルを選択し、高精度の2次元プロセスシミュレーションを行うので、シミュレーションモデルに関する知識が無くとも高精度のシミュレーション結果を得ることができる。

【0032】さらに、各製造工程をシミュレートするのに最適なシミュレーションモデルを選択した後に、処理時間の短いシミュレーションモデルを順に選択し、各製造工程をシミュレートするのに最適なシミュレーションモデルの1次元シミュレーション結果と処理時間の短いシミュレーションモデルの1次元シミュレーション結果との比較を繰返し、両シミュレーション結果の誤差一定範囲内で、且つ、最も処理時間の短いシミュレーションモデルを選択するので、一定の精度を保ちながら短時間でシミュレーションを行うことができる。

【0033】さらに、選択したシミュレーションモデルを用いた1次元シミュレーションの結果からメッシュを設定又は変更するので、さらに高精度の2次元プロセスシミュレーションを行うことができる。

【図面の簡単な説明】

【図1】この発明の実施例を示すブロック図である。

【図2】プロセスシーケンスデータの構成例を示す構成図である。

【図3】最適のモデルを選択する場合の動作を示すフローチャートである。

【図4】モデル選択手段の構成を示すブロック図である。

【図5】処理時間の短いモデルに変更する場合の動作を示すフローチャートである。

【図6】他の実施例の構成を示すブロック図である。

【図7】MOSFETの断面図である。

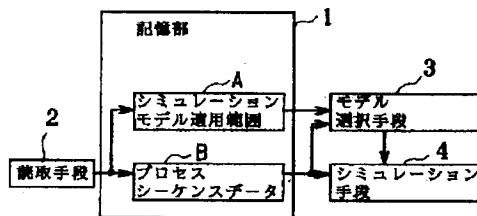
【図8】注入イオンの分布図である。

【符号の説明】

- |     |         |
|-----|---------|
| 1   | 記憶部     |
| 2   | 読取手段    |
| 3   | モデル選択手段 |
| 3 1 | 1 次選択手段 |
| 3 2 | 2 次選択手段 |

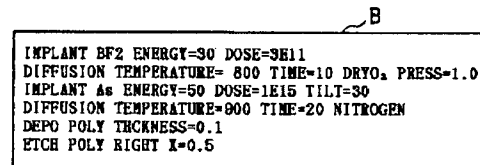
- 3 3 比較手段  
4 シミュレーション手段  
5 メッシュ生成手段  
A シミュレーションモデル適用範囲  
B プロセスシーケンスデータ  
C シミュレーションモデル

【図 1】

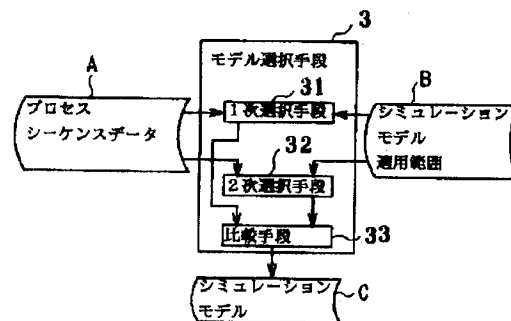


【図 3】

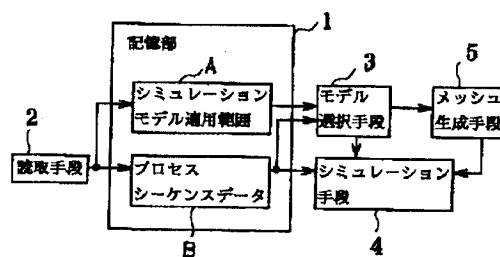
【図 2】



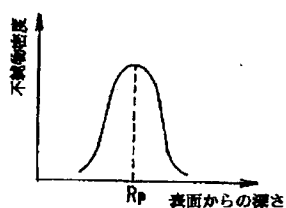
【図 4】



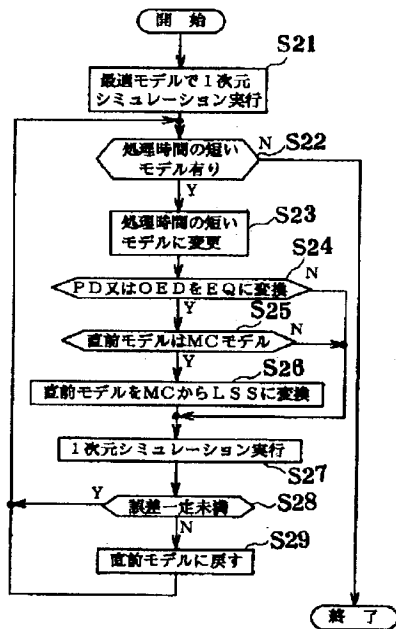
【図 6】



【图 8】



【図 5】



【図 7】

